

論文 コンクリート表面保護塗膜の挙動に関する実験的研究

飯塚 康弘^{*1}・足立 一郎^{*2}・西村 次男^{*3}・魚本 健人^{*4}

要旨:コンクリート構造物は多くの立地条件のもとで、様々な劣化現象が現れるが、特にひび割れに関しての延命対策は非常に重要である。このような補修対策としてはコンクリート表面保護材料（塗膜）があり、ひび割れに対する保護性能の高さが求められている。本研究では、一般的に用いられている各塗膜材料を試験体に塗布し、引張試験を行い塗膜面のひずみ量とひび割れ部の変位量から、各塗膜材料の挙動の検討を行った。

キーワード:コンクリート保護材料、ひび割れ、付着

1. はじめに

コンクリート構造物はメンテナンスフリーであり、建設後は半永久的にその機能を保持しえると考えられてきた。事実、ほとんどのコンクリート構造物は大規模な補修を行わずに、利用されてきたといつてもよい。しかし、中性化や塩害によるコンクリート中の鉄筋腐食や、アルカリ骨材反応によるコンクリートの変質と言われるような早期劣化、不適切な材料の使用、設計ミス、そして大型車両化、車両増大などの影響による道路や橋梁の疲労劣化、また施工不良によるコンクリート構造物の劣化が顕在化している。

コンクリート構造物の劣化現象の一つとして「ひび割れ」があるが、コンクリート構造物は多くの立地条件のもとで、化学的及び物理的な劣化現象により、ひび割れも様々な形状で顕著に表れてきており、何らかの延命対策を施す必要性が認められるようになった。このようなひび割れに対する補修方法の一つとして、コンクリート表面保護材料（以下、塗膜）があり、また現在では多くの材料が使われているのが現状である。これら塗膜には、様々な要求性能が存在している。一般の

規格として、耐候性（JSCE-K511）、コンクリートとの付着強さ（JSCE-K531）、等があげられるが、ひび割れ樹脂注入を行わない程度のひび割れが存在するコンクリートに対しての保護性能や、コンクリート表面に塗布した後に発生したひび割れに対しての塗膜の保護性能の評価方法として、ひび割れ追従性（JSCE-K532）が重要であると考えられる。

既往の研究では、ひび割れ追従性の静的、動的な挙動に対する実験的研究は数多く報告されている^{1) 2) 3)}が、本研究では、現在一般的に使用されている各 15 社の塗膜材料を模擬的に導入したひび割れ幅 0.2 mm の 0 スパン試験モルタル供試体に塗布し、各塗膜材料のひずみ挙動およびひび割れ幅の変位量を実験的に検討を行った。

2. 実験概要

2. 1 試験体の作製

1) 試験体の形状及び配合

本研究で使用する試験体は、以下に示す手順により作製した。図-1 に示すように 70×70×400mm の 0 スパン試験体を用いている。今回、塗膜の破

*1 千葉工業大学大学院 工学研究科 土木工学専攻（正会員）

*2 千葉工業大学教授 工学部 土木工学科 工博（正会員）

*3 東京大学 生産技術研究所 技術官（正会員）

*4 東京大学 国際・産学共同研究センター教授 工博（正会員）

表-1 モルタル配合

水セメント比 W/C	セメント・ 細骨材比 S/C	単位量(kg/m ³)			目標 スランプフロー (mm)
		水 W	セメント C	細骨材 S	
0.65	3	306	471	1412	250

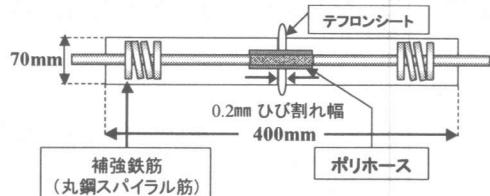


図-1 試験体概要図

表-2 各社塗膜材料と物性値

試験体No.	工程			総膜厚 (μm)	ひび割れ追従性 (標準養生後・mm)
	下塗材	中塗材	上塗材		
1 バテ	エポキシ樹脂系 アクリルゴムマルション	アクリルゴム系防水材	アクリルウレタン樹脂系	1135	4.6
2 バテ	エポキシ樹脂系 エポキシ樹脂系				
3 バテ	エポキシ樹脂系 アクリルゴム系	アクリルゴム系	フッ素樹脂系	985	3.2
4 バテ	エポキシ樹脂系 エポキシ樹脂系				
5 バテ	マルショニ樹脂系 柔軟形ポリマーセメント系	柔軟形エポキシ樹脂系	柔軟形フッ素樹脂系	950	2.6
6 バテ	表示なし 表示なし				
7 バテ	エポキシ樹脂系 エポキシ樹脂系	柔軟形エポキシ樹脂系	柔軟形フッ素樹脂系	595	2
8 バテ	エポキシ系 エポキシ系				
9 バテ	エポキシ系 エポキシ系	エポキシ系	フッ素系	505	3.9
10 バテ	エポキシ系 エポキシ系				
11 バテ	エポキシ系 エポキシ系	柔軟形エポキシ系	低汚染柔軟形フッ素系	330	1.8
12 バテ	無し アクリル系PCP				
13 バテ	エポキシ樹脂系 エポキシ系	柔軟エポキシ系	柔軟フッ素系	270	1.01
14 バテ	エポキシ系 無し				
15 バテ	エポキシ系 エポキシ系	弾性形ポリマーセメントモルタル	弾性アクリル塗料	表示無し	1
		柔軟形エポキシ系	柔軟形フッ素系	690	0.85

断を誘発させるため、中央部には厚さ 0.2 mm テフロンシートを挟み、模擬ひび割れを導入した。鉄筋両端には防水テープ（フッ素樹脂製シールテープ）を巻き付けた後、表面を防錆塗料によりコートイングした。また鉄筋中央には、ポリ塩化ビニールテープを巻き付け、ポリホースをかぶせ、鉄筋とモルタル面の付着を完全に切った。また鉄筋とモルタルの付着力を向上させるために、丸鋼スパイラル筋を両端に導入した。打設方法としては、型枠に鉄筋、スパイラル筋、テフロンシート及び仕切り版をセットした後、型枠を組み立て、接合部には水漏れを防ぐためにグリース及び油粘土を塗布した。はじめに、型枠の半分にモルタルを打設し、翌々日に残りの半分を打設した。モルタルの配合は表-1 に示す通りである。セメントには

普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm³、比表面積 3290cm²/g）、細骨材には大井川水系陸砂（密度(表乾) 2.54g/cm³、吸水率 1.98%、実績率 68.5%）を用いている。なお試験時に用いるモルタル性状は、第 1 回目のフローは 259×258mm で 28 日圧縮強度は 37.9N/mm²、第 2 回目のフローは 255×252mm で 28 日圧縮強度は 36.8N/mm² である。モルタルの硬化後はテフロンシートを抜き取り、試験体の完成である。なお、1 種類の塗膜材料につき試験体 3 本、合計 45 本の試験体を作製した。

2) 試験体に塗布した塗膜材の物性値と仕様
作製したモルタル試験体を 28 日間標準養生後、試験体に塗膜を塗布した。本研究で使用した塗膜材料と物性値を表-2 に示す。塗布方法は、最初

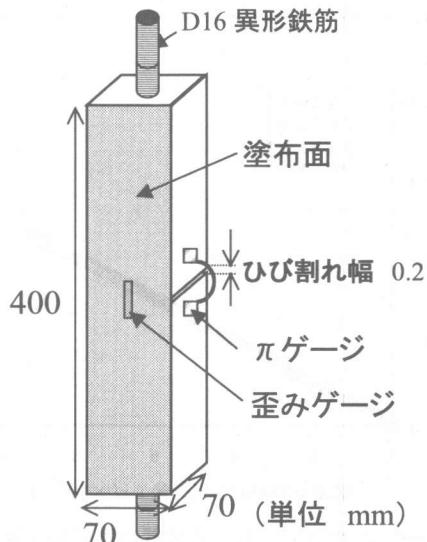


図-2 試験体と計測位置

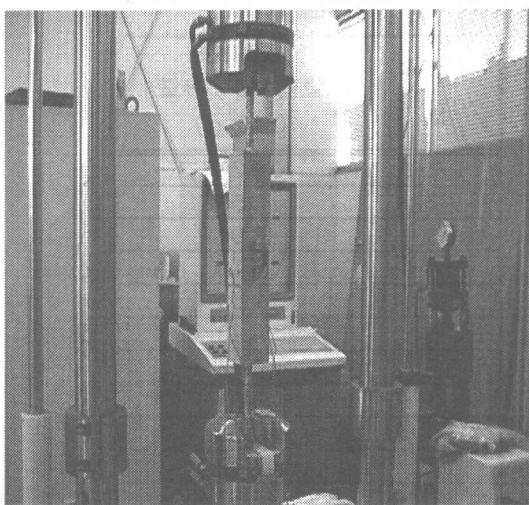


写真-1 引張試験概要図

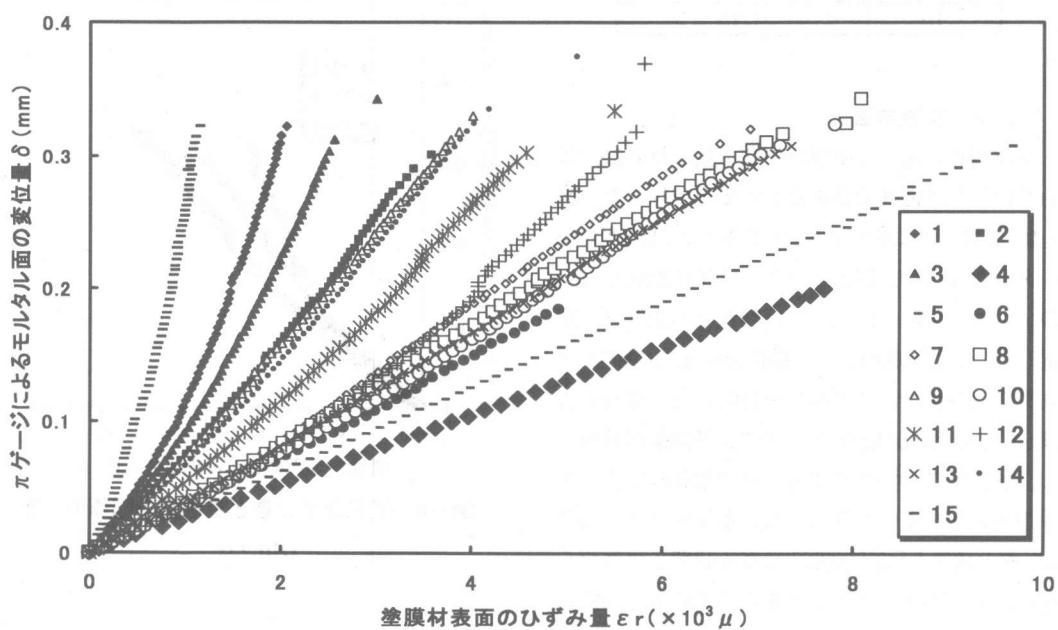


図-3 塗膜材のひずみ量とモルタル面の変位量の関係

にサンドブラストにより素地調整を行い、試験体の2面に各15種類の塗膜を各社の規格に従って塗布する。選定基準としては、各社の公表しているひび割れ追従性（JSCE-K 532）を参考にし、値の高いものだけでなく比較検討のため値が均等に散

らばるように選定した。塗膜の養生後、試験体中央部分のテフロンシートを抜き取り、試験体の完成である。塗膜材を塗布後、2週間の気中養生後に実験を開始した。

表-2 破断直前の塗膜のひずみ量

試験体 No.	塗膜破断 直前のひずみ量 ($\times 10^3 \mu$)
1	4.38
2	3.58
3	3.01
4	7.70
5	9.65
6	4.92
7	6.93
8	8.08
9	4.02
10	7.82
11	5.50
12	5.73
13	7.35
14	5.11
15	1.15

2.2 実験方法

ひび割れに対する塗膜の伸びを見るために、静的ひび割れ追従性試験を以下の要領で行った。図-2、写真-3に示すように、作製した試験体のモルタル面にはひび割れをまたいで標点距離 50mm のπゲージを取り付け、ひび割れ幅の変位量を測定した。また塗膜面には、長さ 20mm のひずみゲージを取り付け、ひずみ量を測定した。載荷方法は、約 1kN (100kgf) ピッチで、単調漸増載荷とし、各荷重においてひずみ、ひび割れ幅をデジタル歪測定器を用いて計測した。本研究では、塗膜が「部分破断」「完全破断」になる状態まで載荷を行い、塗膜の挙動とモルタル面の変位量を測定した。また、実験室内温度は 20±2℃ の一定条件で実験を行った。

3. 実験結果と考察

1種類の塗膜材料につき 3 本のモルタル面のひび割れ変位量 (δ) 及び塗膜材表面のひずみ量 (ε_r) を平均化し、15種類の塗膜材料の結果を図-3 に、塗膜材の破断ひずみの結果を表-2 に示す。塗膜材のひずみ量とモルタル面の変位量の関係を

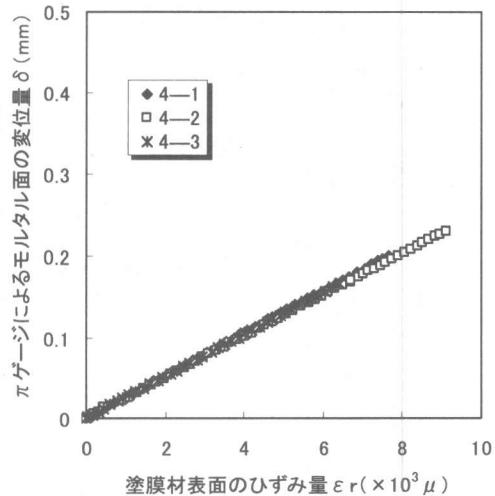


図-4 ①のひずみ量と変位量の関係の一例
(No.4)

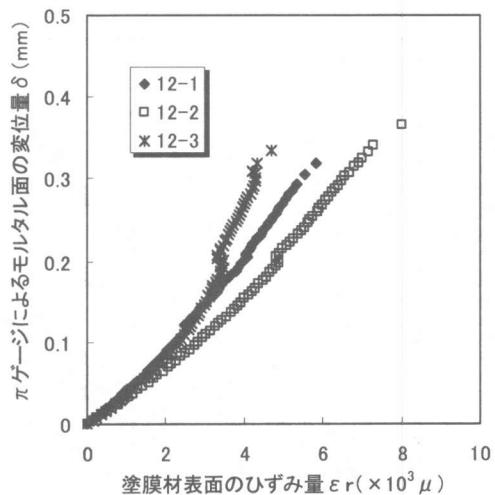


図-5 ②のひずみ量と変位量の関係の一例
(No.12)

見ると、大きく以下に示す 3 種類に分類することができる。

- ① 塗膜材のひずみ量とモルタル面の変位量の関係が塗膜材の破断時まではほぼ直線的な関係にあるもの (No.4, 5, 6, 8, 10, 13, 14)。
- ② 塗膜材のひずみ量とモルタル面の変位量の関係が初期においてはほぼ直線関係を示すが、あるひずみ量に達したときに塗膜のひずみ量に対する

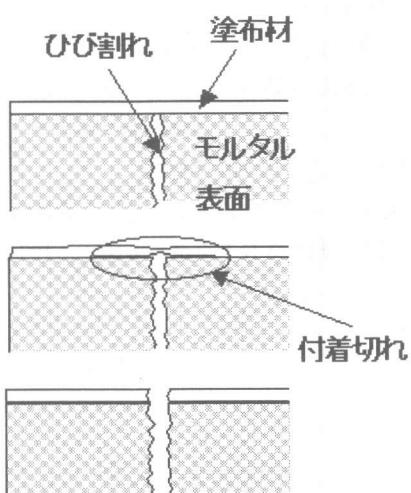


図-6 塗膜とモルタル面の付着切れ概念図

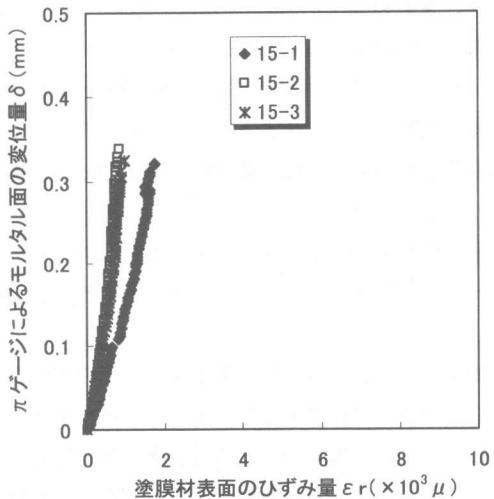


図-7 ③のひずみ量と変位置量の一例
(No. 15)

モルタルの変位置が多くなるもの (No.2, 7, 9, 11, 12)。

③ ②に示した挙動が初期から生じるもの (No.15, 1, 3)。

以上の結果をもとに塗膜材のひずみとひび割れ幅の変位の挙動に関する定量的評価を行う。この際、上記した3種類に関して一例を示して考察を行う。

図-4に試験体No4-1~3までの結果を示す。図-4では、両者の関係が直線的であり3本とも同一直線上にのっていることが分かる。塗膜材が破断する際のπゲージでの変位置には若干誤差があるものの、ひずみ量は同じような挙動を示していることがわかる。図-5に試験体No12-1~3までの結果を示す。初期における両者の関係はほぼ直線的であり、3試験体ともにほぼ同様な挙動を示しているが、モルタル面の変位置量が約0.2mmに達した所で、3本の挙動が異なってくることがわかる。さらに、3試験体の挙動がそれぞれ異なる傾向を示していることがわかる。この原因として考えられるのは、図-6に示すようにモルタル面と塗膜材の付着が完全に切れたために、荷重は鉄筋と塗膜材によって分担されていると考えられる。

つまり塗膜材が分担する荷重が増加せず、逆に鉄筋が受け持つ荷重が増大することによるものであると考えられる。このことから、塗膜材のひずみ量に対するモルタル面の変位の増分（両者の関係の傾き）を用いることにより塗膜材のはがれ等を評価することが可能であると考えられる。

しかし、既往の研究²⁾³⁾では膜厚の相違とひび割れ追従性の間には相関関係が見られたが、本実験の範囲内では良い相関性が見られなかった。これは、今回の試験における塗膜材は1種類のみが使われたわけではなく、何層にも塗膜材が塗布されており、塗膜材と塗膜材自体の付着強さがそれぞれ異なるためと推測される。今回の実験では上記考察の裏付けを行うことができなかつたため、これに関しては今後の課題としたい。

図-7に試験体No.15-1~3までの結果を示す。図-5と同様な傾向を示しているが、直線の傾きが非常に急激であることがわかる。この原因としては、上記した塗膜材の付着切れが極初期から生じた可能性と、塗膜材が模擬ひび割れの変位を拘束している（付着力が大きい）可能性があると考えられるが、現段階では何れの現象であるか明らかとすることは不可能であった。

4. まとめ

本研究の結果得られた成果を以下に示す。

- 1) ピゲージによるひび割れ部の変位量と塗膜部分ひずみ履歴でグラフ化することにより、それぞれの塗膜材が示す3つの代表的な挙動を知る事が出来た。
- 2) 塗膜材の種類によって、塗膜材のひずみとモルタルの変位量の関係が異なることが明らかとなつた。
- 3) 塗膜材のひずみ量に対するモルタル面の変位の増分（両者の関係の傾き）を用いることにより、塗膜材のはがれ等を評価することが可能であると考えられ、現段階では実験的検証を行うことができなかった。

今後の課題としては、各層における塗膜材間の付着強さを検討することや、膜厚を一定とした条件で実験を行うことにより、使用した塗膜材ごとの独立した特徴を把握する必要がある。また、静的だけの評価試験だけではなく、床版や梁などといった動的荷重、特に疲労荷重を受けるような実構造物に対して塗膜材料の有効な実験方法の確立や提案が必要であると考えられる。

謝辞

本研究は、東京大学生産技術研究所第5部魚本研究室で行ったものであり、多大なご協力を頂いた研究室の方々に深く感謝の意を表します。また、試験体に塗膜材料の施工をしていただいた各社の方々にも合わせて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 伊藤洋、西山勝栄、清水昭男、石田良平：コンクリート表面各種塗布材のひび割れ追従挙動に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集, vol. 10, No. 2, pp. 281-286, 1988
- 2) 伊藤洋、西岡吉弘、清水昭男、石田良平：コンクリート表面塗布材のひびわれ追従性評価に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文集,

vol. 11, No. 1, pp. 761-764, 1989

3) 牛島栄、酒井芳文、谷口秀明、関博：コンクリート劣化防止塗膜材のひび割れ追従特性に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集, vol. 12, No. 1, pp. 579-584, 1990

4) 大濱嘉彦 監修：鉄筋コンクリート構造物の劣化対策技術、株式会社テクノシステム, 1996